



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Lauri Kivinen

RAKENNUSTEN ELINKAAREN HIILI- JALANJÄLKILASKENTA

Tekniikka
2020

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Lauri Kivinen
Opinnäytetyön nimi	Rakennusten elinkaaren hiilijalanjälkilaskenta
Vuosi	2020
Kieli	suomi
Sivumäärä	30 + 1 liite
Ohjaaja	Riitta Niemelä

Suomen tavoitteena on olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Rakennusten elinkaariarviointia ja vähähiilisyyttä tullaan valtiovallan toimesta sääntelemään. Hiilijalanjälkilaskennan avulla pystytään kuvaamaan rakennuksen elinkaareen aikaisia vaikutuksia ilmastoon.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli kirjallisuuden perusteella selvittää rakennusten elinkaaren hiilijalanjälkilaskentaa. Tutkimuksen tavoitteena oli edistää tietämystä rakennusten hiilijalanjäljen muodostumisesta, joka mahdollistaa tulevaisuudessa hiilijalanjäljen pienentämisen rakennuksen elinkaaren eri vaiheissa. Tutkimuskysymykset olivat, mistä tekijöistä muodostuu tuote- ja rakennusvaiheen, käyttövaiheen ja purkuvaiheen hiilijalanjälki.

Hiilijalanjälkilaskureita on useita. Tässä opinnäytetyössä käytettiin ympäristöministeriön pilottivaiheessa olevaa arviointityökalua kuvaamaan hiilijalanjälkilaskennan etenemistä. Suurimmat ratkaisut rakennusten hiilijalanjäljessä tehdään rakennusten hanke- ja suunnitteluvaiheessa. Rakennusten hiilijalanjäljestä suurin osa aiheutuu energian käytöstä ja toiseksi suurin rakennusmateriaalien valmistuksesta. Hiilijalanjälkilaskentaa kannattaa tehdä. Hiilijalanjälkilaskenta on lähtökohta hiilijalanjäljen pienentämiseksi rakennuksen elinkaaren eri vaiheissa.

Avainsanat	Rakennusten elinkaari, elinkaariarviointi, hiilijalanjälki, hiilijalanjälkilaskenta
------------	---

ABSTRACT

Author	Lauri Kivinen
Title	Carbon Footprint Calculation of the Life Cycle of Buildings
Year	2020
Language	Finnish
Pages	30 + 1 Appendix
Name of Supervisor	Riitta Niemelä

Finland's objective is to be carbon neutral by year 2035. The life cycle assessment and low carbon of buildings will be regulated by the government. Carbon footprint calculations can be used to describe the effects of a building's life cycle on the climate.

The purpose of this study was to determine the carbon footprint of the life cycle of buildings based on the literature. The aim of the study was to promote knowledge about the formation of the carbon footprint of buildings, which will enable the reduction of the carbon footprint in the future at different stages of the building life cycle. The research questions were what factors make the carbon footprint of the product and construction phase, the operation phase, and the demolition phase.

There are several carbon footprint counters. In this thesis, the evaluation tool of the Ministry of the Environment, currently in the pilot phase was used to describe the progress of carbon footprint calculation. The largest solutions regarding in the carbon footprint of buildings are made in the design and planning phase of buildings. Majority of the carbon footprint of buildings is caused by the use of energy and the second largest factor is the production of building materials. Carbon footprint calculation is the starting point for reducing the carbon footprint at different stages of a building life cycle.

Keywords	The life cycle of buildings, Life Cycle Assessment (LCA), carbon footprint, carbon footprint calculation
----------	--

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	7
2	TUTKIMUKSEN TAUSTA, TARKOITUS, TAVOITE JA TUTKIMUSKYSYMYKSET	9
3	HIILIJALANJÄLKI	12
	3.1 Mitä tarkoitetaan hiilijalanjäljellä?	12
	3.2 Kasvihuonepäästöjen aiheuttajat.....	13
	3.3 Kasvihuonepäästöjen vähentäminen	14
4	HIILIJALANJÄLKILASKENTA	15
5	RAKENNUSTEN ELINKAARI.....	17
6	RAKENNUSTEN ELINKAAREN HIILIJALANJÄLJEN LASKEMINEN	19
	6.1 Rakennusten hiilijalanjäljen laskemisessa tarvittavat tiedot.....	19
	6.2 Tuote- ja rakennusvaiheen hiilijalanjälki (vaihe A).....	21
	6.3 Käyttövaiheen hiilijalanjälki (vaihe B)	23
	6.4 Purkuvaiheen hiilijalanjälki (vaihe C)	25
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	27
	LÄHTEET.....	29
	LIITE	

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. EU:n kasvihuonepäästöt (miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia), ennuste nykyisillä toimilla ja tavoite vuoteen 2030.....	7
Kuva 2. Maailman kasvihuonepäästöt.....	12
Kuva 3. Alakohtaiset kasvihuonepäästöt EU:ssa vuonna 2017.....	13
Kuva 4. Puutalon päästöjen suhteellinen jakauma.....	24
Kuva 5. Betonitalon päästöjen suhteellinen jakauma.....	25
Taulukko 1. Rakennuksen elinkaaren vaiheet Eurooppalaiseen EN 15978 –standardin mukaan	17
Taulukko 2. Arvioitavat rakennuksien osat.....	19
Taulukko 3. Materiaaliluettelo.....	21
Taulukko 4. Esimerkki materiaalien päästötaulukosta.....	21
Taulukko 5. Valmistus-, kuljetus- ja työmaavaiheen päästöjen arviointi (A)....	22
Taulukko 6. Rakennuksen käyttövaiheen päästöjen arviointi (B).....	24
Taulukko 7. Elinkaaren lopun päästöjen arviointi (C).....	25

LIITELUETTELO**LIITE 1.** Elinkaaren eri vaiheiden päästöjen taulukkoarvot

1 JOHDANTO

Suomen tavoitteena on olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Tämä tulee vaikuttamaan moneen yhteiskunnan osa-alueeseen, joten myös rakennusallalla on suoritettava päästövähennyksiä. Suomessa on käynnissä maankäyttö- ja rakennuslain kokonaisuudistus, jonka tärkeimpiä osia ovat rakennusten elinkaariarviointi ja vähähiilisyys. Rakennusten elinkaaren hiilijalanjälkilaskennan sääntely tulee valtiovallan toimesta lisääntymään. Tämän seurauksena rakennusten koko elinkaaren hiilijalanjälkilaskenta jo rakennusten suunnittelu- ja hankevaiheessa tule lisääntymään. /1-2./

Hiilijalanjälkilaskennalla on nykyään yhä kasvavampi rooli elinkaaren aikaisten kasvihuonekaasujen ja niiden ekologisen kestävyuden arvioinnissa. Hiilijalanjälkilaskennassa kiinnitetään huomiota rakennuksen koko elinkaareen aina suunnittelusta sen purkamiseen asti. Rakennuksen elinkaaren aikainen hiilijalanjäljen arviointi antaa rakennusten ympäristöarviointia laativille tahoille tärkeää tietoa luonnonvarojen kultukseen liittyvistä tekijöistä sekä rakennuksen elinkaaren aikaisista ympäristövaikutuksista. Arvioinnin perusteella voidaan rakennuksen suunnittelu- vaiheessa arvioida rakennuksen osien ja rakennuksen elinkaaren eri vaiheiden merkitys ympäristön näkökulmasta. /3./

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on kirjallisuuden perusteella selvittää rakennusten elinkaaren hiilijalanjälkilaskentaa. Tutkimuksen tavoitteena on edistää tietämystä rakennusten hiilijalanjäljen muodostumisesta, joka mahdollistaa tulevaisuudessa hiilijalanjäljen vähentämisen rakennuksen elinkaaren eri vaiheissa.

Teoreettisessa viitekehyksessä ensin määritellään hiilijalanjälki. Hiilijalanjälki syntyy kasvihuonepäästöistä, joten luvussa käsitellään myös kasvihuonepäästöjen merkittävimmät aiheuttajat ja lyhyesti myös kasvihuonepäästöjen vähentämistä, koska kasvihuonepäästöjen vähentämiseksi juuri hiilijalanjälkilaskentaa tehdään. Hiilijalanjälkilaskenta on hyvin standardoitua, joten seuraavassa luvussa käsitellään hiilijalanjälkilaskentaa määrittäviä säädöksiä ja ohjeistusta. Hiilijalanjälkilaskentaa suoritetaan rakennusten elinkaaren kaikissa vaiheissa, joten seuraavana teoreetti-

sessä viitekehyksessä kuvataan rakennusten elinkaari. Tulososiossa kuvataan kirjallisuuden perustella hiilijalanjälkilaskentaa rakennusmateriaalien tuoton ja varsinaisen rakentamisen aikana, rakennuksen käyttövaiheen aikana ja lopuksi purkuvaiheessa. Tiedonhakua tehtiin sekä kotimaisista että kansainvälisistä lähteistä käyttämällä hakusanoja rakennusten elinkaari, life circle of buildings, elikaariarviointi, life circle assesment (LCA), hiilijalanjälki, carbon footprint, hiilijalanjälkilaskenta ja carbon footprint calculation. Lisäksi käytiin laajasti läpi Ympäristöministeriön ja rakennusalaan ohjaavan Työ- ja elinkeinoministeriön ajankohtaista tiedottamista ja julkaisuja aihepiiristä.

2 TUTKIMUKSEN TAUSTA, TARKOITUS, TAVOITE JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi Euroopan unioni on laatinut tavoitteen vähentää päästöjä EU:ssa vähintään 40 prosenttia vuoden 1990 tasosta vuoteen 2030 mennessä /4/. Kuvasta 1 käy ilmi, että vuonna 2016 kasvihuonepäästöjen määrä oli vähentynyt 23 prosenttia vuoden 1990 tasosta. Kasvihuonepäästöjen vähentämistoimenpiteitä tarvitaan lisää, jotta vuoteen 2030 asetettu tavoite voidaan saavuttaa. /5./ Suomi on asettanut tavoitteekseen olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä ensimmäisenä maana maailmassa /6/. Kasvihuonepäästöjä ja hiilijalanjälkeä tulee pienentää kaikilla yhteiskunnan aloilla. Rakentaminen on merkittävä teollisuuden ala, joten päästövähennykset koskevat myös rakennuksia ja rakentamista.



Kuva 1. EU:n kasvihuonepäästöt (miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia), ennuste nykyisillä toimilla ja tavoite vuoteen 2030 /5/.

Ympäristöministeriö teki vuonna 2017 selvityksen tiekartasta, jolla vähennetään rakentamisen ja rakennusmateriaalien aiheuttamaa hiilijalanjälkeä. Tarkoituksena on myös edistää Suomen rakennus- ja kiinteistöalaa, jotta asetetut ilmastotavoitteet saavutetaan. Rakennusmateriaalien osuus rakennuksen elinkaaren aiheuttamista

kasvihuonekaasuista on merkittävä. Rakennusmateriaalien suhteellinen osuus rakennuksen aiheuttamasta hiilijalanjäljestä kasvaa rakennusten energiatehokkuuden parantuessa, sekä rakennuksen käytön aikaisten päästöjen vähentyessä. Merkittävin osa rakennusmateriaalien päästöistä syntyy niiden valmistusvaiheessa. Tällä hetkellä näitä päästöjä säädellään vapaaehtoisilla rakennusten ympäristöarviointivälineillä, joita ovat esimerkiksi Rakennustiedon ympäristöluokitus ja kansainvälinen LEED. Laaditun selvityksen perusteella ympäristöministeriö julkisti kolmivaiheisen tiekartan rakennuksen elinkaaren CO₂ -päästöjen ohjaukseen, johon on tarkoitus siirtyä vuoteen 2025 mennessä. Ensimmäisenä tehdään ohjausjärjestelmän vaikutusarvioinnit ja kehitetään hiilijalanjäljen laskentamallia ja päästötietokanta. Toisessa vaiheessa kytketään ohjausjärjestelmä kaavoitukseen ja energiaohjaukseen. Tämän lisäksi tehdään säädösohjauksia ja valmistellaan mahdollisia kannusteita. Rakennusten päästötietojen seuranta ja tilastoinnin valmistelu on myös olennainen osa tiekartan toisen vaiheen toiminnoista. Viimeisessä eli kolmannessa vaiheessa ohjausjärjestelmä otetaan käyttöön, jolloin rakennusten päästöjä voidaan seurata. /7-8./

Ympäristöministeriön laatimalla rakennusten hiilijalanjäljen arviointimenetelmällä on tarkoitus parantaa rakentamisen aiheuttamien ilmastovaikutusten laskemista. Arviointimenetelmä käsittää rakennuksen koko elinkaaren rakennustuotteiden valmistuksesta kuljetuksiin ja työmaatoimintoihin, käyttöön ja korjauksiin sekä rakennuksen käyttövaiheen lopussa tapahtuvaan purkamiseen ja kierrätykseen. Ensimmäinen versio arviointimenetelmästä otettiin käyttöön syksyllä 2019 rakennushankkeiden testattavaksi. Testausjakson aikana menetelmää käytettiin uudisrakennusten ja laajamittaisten korjausten hiilijalanjäljen arviointiin. Arviointimenetelmää päivitetään testauksen jälkeen, jotta se pystyy tarjoamaan tuoreinta ja kehittyneintä tietoa seuraavia hankkeita varten. /1./

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli kirjallisuuden perusteella selvittää rakennusten elinkaaren hiilijalanjälkilaskentaa. Tutkimuksen tavoitteena oli edistää tietämystä rakennusten hiilijalanjäljen muodostumisesta, joka mahdollistaa tulevaisuudessa hiilijalanjäljen pienentämisen rakennuksen elinkaaren eri vaiheissa.

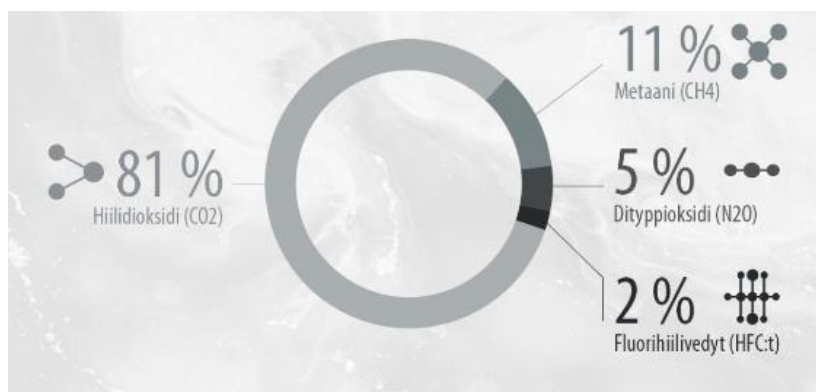
Tutkimuskysymykset ovat:

- Mistä tekijöistä muodostuu tuote- ja rakennusvaiheen hiilijalanjälki?
- Mistä tekijöistä muodostuu rakennuksen käyttövaiheen hiilijalanjälki?
- Mistä tekijöistä muodostuu rakennuksen purkuvaiheen hiilijalanjälki?

3 HIILIJALANJÄLKI

3.1 Mitä tarkoitetaan hiilijalanjäljellä?

Hiilijalanjälki tarkoittaa kasvihuonekaasujen määrää, joka vapautuu ilmakehään ihmisen aiheuttaman toiminnan seurauksena. Kasvihuonekaasuja ovat hiilidioksidi (CO_2), metaani (CH_4), dityppioksidi (N_2O) ja fluorihilivedyt. Yleisin kasvihuonekaasu on hiilidioksidi (CO_2). Kaikista kasvihuonepäästöistä 81 prosenttia on hiilidioksidia (Kuva 2). Hiilidioksidi kattaa 81 prosenttia kaikista ilmakehään päätyvistä kasvihuonekaasupäästöistä. Hiilijalanjälkeä lasketaan yleensä hiilidioksidiekvivalenttitonneina vuodessa. Hiilidioksidiekvivalentti ($\text{CO}_2\text{-ekv.}$) tarkoittaa ilmakehään vapautuneiden kasvihuonekaasujen määrää, jotka on yhteismitallistettu vastaamaan hiilidioksidin ilmastoa lämmittävää vaikutusta. Hiilijalanjälki on laaja käsite, jota voidaan tarkastella ihmisen, perheen, yrityksen tai valtion ilmakehään aiheuttamien kasvihuonepäästöjen näkökulmasta. /9-10, 12./



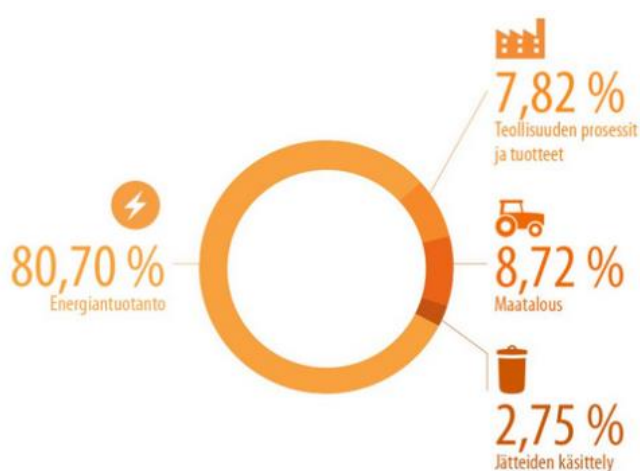
Kuva 2. Maailman kasvihuonepäästöt /10/.

Hiilijalanjäljen lisäksi puhutaan myös hiilikädenjäljestä. Hiilikädenjälki on uusi ympäristömittari. Suomessa hiilikädenmittarin käyttöä ja ohjeistusta on kehittänyt VTT yhdessä yritysten kanssa. Hiilikädenjäljessä kuvataan negatiivisten ympäristövaikutusten sijaan positiivisia ympäristövaikutuksia. Hiilikädenjäljellä tarkoitetaan tuotteen positiivisia ympäristövaikutuksia. Mitä suurempi hiilikädenjälki on, sitä ympäristöystävällisempi tuote on. Hiilikädenjälkilaskentaa yritykset hyödyntävät markkinoinnissa ja tuotekehityksen suuntaamisessa ympäristöystävällisempään suuntaan. /3, 11./

3.2 Kasvihuonepäästöjen aiheuttajat

Hiilidioksidi on merkittävin ihmisen tuottamista kasvihuonepäästöistä. Sitä syntyy, kun fossiilisia polttoaineita, kuten hiiltä, öljyä ja maakaasua käytetään energiantuotannossa ja liikenteessä. Hiilidioksidipäästöjä syntyy myös maataloudessa, teollisuuden prosesseissa, kaatopaikoilla ja metsäpaloissa. Kaikissa näissä tapauksissa ilmakehään pääsee hiilidioksidia, joka ei luonnostaan kuulu ilmakehään. Tämän seurauksena maapallon lämpötila nousee, joka johtaa ilmaston lämpenemiseen. Lämpötila nousee, kun kasvihuonekaasut estävät auringonsäteilyn pääsyn takaisin avaruuteen. /12./

Vuonna 2017 energiantuotanto aiheutti 80,7 prosenttia kaikista kasvihuonekaasupäästöistä EU-maissa, josta noin kolmannes syntyi liikenteen seurauksena. Muita merkittäviä päästöjen aiheuttajia kyseisenä vuotena olivat maataloudesta syntyneet päästöt, joiden osuus kokonaispäästöistä oli 8,72 prosenttia. Teollisuuden prosessit ja tuotteet aiheuttivat 7,82 prosenttia kaikista kasvihuonekaasupäästöistä vuonna 2017. Lisäksi jätteiden käsittely aiheutti 2,75 prosenttia kokonaispäästöistä. Kuva 3 on esitetty alakohtaiset kasvihuonepäästöt EU-maissa. /10./



Kuva 3. Alakohtaiset kasvihuonepäästöt EU:ssa vuonna 2017 /10/.

EU-maat tuottivat vuonna 2015 kolmanneksi eniten kasvihuonekaasupäästöjä maailmassa. Suurimpia tuottajia olivat Kiina ja Yhdysvallat. Muita merkittäviä kasvihuonekaasujen tuottajia maailmassa ovat Venäjä ja Intia. Kasvihuonekaasupäästöillä on maailmanlaajuiset vaikutukset, jotka eivät ole sidonnaisia pelkästään niitä eniten tuottaviin maihin. Kasvihuonekaasupäästöt pysyvät ilmakehässä muutamasta vuodesta tuhansiin vuosiin. /10,12./

3.3 Kasvihuonepäästöjen vähentäminen

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi Euroopan unioni on laatinut tavoitteen vähentää päästöjä EU:ssa 40 prosenttia vuoden 1990 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Liikenteessä, maataloudessa, rakennusallalla ja jätehuollossa tavoite on, että päästöjä vähennetään 30 prosenttia vuoden 2005 päästöistä. Edelle mainitut toimet synnyttivät noin 60 prosenttia koko EU:n tuottamista kasvihuonekaasupäästöistä vuonna 2014. Jokaiselle jäsenmaalle on laadittu erikseen oma tavoite päästöjen vähennyksessä. Tätä varten on laadittu taakanjakopäätös, jossa kerrotaan sitovat vuosittaiset kasvihuonekaasupäästötavoitteet vuosiksi 2013-2020. Jokaisella jäsenmaalla on erilaiset valmiudet vähentää päästöjä, joka on otettu huomioon tavoitteita määriteltäessä. Maakohtaiset vähennystavoitteet on määriteltä asukaskohtaisen bruttokansantuotteen perusteella. Suomen tavoite vähentää kasvihuonekaasupäästöjä vuoden 2005 tasosta vuoteen 2030 on 39 prosenttia, joka on yksi korkeimmista luvuista koko Euroopan unionissa. /4./

4 HIILIJALANJÄLKILASKENTA

Rakennushankkeiden elinkaaren hiilijalanjäljenlaskenta on kasvanut merkittävästi viime vuosina. Tarkoituksena on, että rakennusten hiilijalanjäljen arviointi tulee osaksi rakentamisen sääntelyä 2020-luvulla. Tähän on vaikuttanut alan kiinnostus vähähiilistä rakentamista kohtaan sekä ympäristöministeriön tavoite kiinnittää entistä enemmän huomiota rakennuksen eri vaiheiden hiilijalanjälkeen. Hiilijalanjälkilaskennan avulla pystytään kuvaamaan rakennuksen elinkaareen aikaisia vaikutuksia ilmastoon. Rakennusten hiilijalanjälki käsittää rakennusmateriaalien osien valmistuksen, kuljetukset, rakentamisen työmaalla ennen rakennuksen varainasta käyttöönottoa. Rakennuksen käytön ja käytöstä poiston aikainen hiilijalanjälki pystytään laskemaan. Laskenta menetelmä antaa vaikutusmahdollisuuksia rakennuksien koko elinkaaren hiilijalanjälkeen. /13./

Hiilijalanjälkilaskennassa vaikutuksia mitataan kasvihuonekaasupäästöjen määrällä. Valtion Teknologian tutkimuskeskuksen (VTT) mukaan rakennuksen hiilijalanjäljestä 63 prosenttia aiheutuu energian käytöstä. Rakennusvaiheessa luoduilla ratkaisuilla voidaan vaikuttaa merkittävästi rakennuksen energiankulutukseen. Rakennuksessa käytettävissä lämmitysratkaisuilla vaikutetaan suoraan rakennuksen hiilijalanjälkeen. Energian käytön jälkeen rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä loput 37 prosenttia aiheutuu elinkaaren muista vaiheista kuten rakennusmateriaalien valmistuksesta, rakentamisesta, korjauksista ja rakennuksen purusta. Rakennusmateriaalien valmistus on energian käytön jälkeen merkittävin hiilijalanjälkeä kasvattava vaihe. Tulevaisuudessa kun energiatehokkuus entisestään paranee, rakennusmateriaalin valmistuksen suhteellinen osuus korostuu. /13./

Rakennusten hiilijalanjälkilaskentaa määrittelee eurooppalainen standardi EN 15978 Assessment of the environmental performance of buildings - Calculation method. Standardissa kuvataan rakennusten elinkaariarvioinnin laskentamenetelmä. Laskenta etenee rakennuksen elinkaaren mukaisissa vaiheissa alkaen rakennuksessa käytettävien tuotteiden ja materiaalien valmistuksen, niiden kuljetuksen,

rakentamisen, rakennuksen huollon ja rakennuksen purkamisen aiheuttamaan hiilijalanjälkeen. Tämän standardin mukaiset rakennusten elinkaaren eri vaiheet esitellään seuraavassa luvussa. /14./

Toisessa Eurooppalaisessa standardissa EN 15804 Core rules for the product category of construction products kuvataan rakennustuotteiden ympäristötuoteselosteiden rakenne, sisältö ja periaatteet. Tällä standardilla varmistetaan, että eri maissa laaditut kansalliset selosteet rakennetaan yhtenevällä tavalla. /15./ Suomessa rakennusten hiilijalanjälkilaskennassa noudatetaan Suomen Rakennussäätiön (RTS) EDP ympäristöselostetta. EPD (Environmental Product Declaration) on standardoitu tapa esittää vertailukelpoiset tiedot tuotteen ympäristövaikutuksista /16./

Hiilijalanjälkilaskentaa täytyy tehdä laajasti eri yhteiskunnan alueilla. Suomen ympäristökeskus (SYKE) on merkittävässä roolissa hiilijalanjälkilaskureista tiedottamisessa ja myös kehittämisessä. Suomen ympäristökeskus on koonnut internet-sivuilleen yksityishenkilöille ja yrityksille vapaasti käytettäväksi eri laskureita. Hiilijalanjälkilaskenta on lähtökohta sille, että osataan arvioida ihmisen toiminnan ilmastovaikutuksia ja sitä kautta suunnata ja kehittää toimintaa ilmastoa vähemmän kuormittavaksi. Laskureista SYNERGIA on hiilijalanjälkityökalu, jolla voidaan laskea rakennusten päämateriaalien ja päärakenteiden hiilijalanjälki. SYNERGIA–hiilijalanjälkityökalun on kehittänyt Suomen ympäristökeskus. Laskurin käyttö on maksuton ja se edellyttää kirjautumista laskurin käyttäjäksi. /17./

SYNERGIA–hiilijalanjälkilaskurin lisäksi on olemassa lähinnä kaupallisia, lisensillä käytettävissä olevia hiilijalanjälkilaskureita. Ympäristöministeriön rakennusten vähähiilisyyden arviointimenetelmä on pilotoinnissa parhaillaan kesäkuuhun 2020 asti. Ympäristöministeriön arviointityökalua on päässyt testaamaan ilmoittautumalla pilotointiin mukaan oman rakennushankkeen kanssa. Tässä opinnäytetyössä on käytetty ympäristöministeriön arviointityökalua kuvattaessa hiilijalanjälkilaskennan etenemistä, koska se on ollut ilmaiseksi käytettävissä ja saatavilla koko opinnäytetyön tekemisen ajan. /1./

5 RAKENNUSTEN ELINKAARI

Rakennuksen elinkaarella tarkoitetaan ajanjaksoa maankäytön ja rakentamisen suunnittelusta ja raaka-aineiden hankinnasta rakentamiseen aina rakennuksen purkuun ja purkamisesta syntyvän materiaalin lajitteluun. Elinkaariarvioinnilla (LCA, Life Cycle Assessment) tarkoitetaan menetelmää, jolla arvioidaan tuotteiden ja palveluiden ympäristövaikutuksia. Rakennuksen elinkaari Eurooppalaisessa EN 15978 –standardissa jaotellaan viiteen eri vaiheeseen.: tuotevaihe, rakennusvaihe, käyttövaihe, elinkaaren loppuvaihe sekä järjestelmän rajojen ulkopuoliset hyödyt ja haitat (Taulukko 1). Tuote- ja rakennusvaiheiden ympäristövaikutukset ovat yleensä helppo arvioida, koska ne ovat nykyisyyttä ja lähitulevaisuutta. Muiden vaiheiden arviointi on haastavampaa ja ne perustuvat erilaisiin arvioihin rakennuksen käytöstä, ylläpidosta ja purkamisesta. /3,8./

Taulukko 1. Rakennuksen elinkaaren vaiheet Eurooppalaisen EN 15978–standardin mukaan /8/.

A1-3	A4-5	B		C
TUOTEVAIHE	RAKENTAMINEN	KÄYTTÖVAIHE		PURKUVAIHE
A1 Raaka-aineen hankinta A2 Kuljetus valmistukseen A3 Tuotteen valmistus	A4 Kuljetus työmaalle A5 Työmaa-toiminnot	B1 Tuotteen käyttö rakennuksessa B2 Kunnossapito B3 Korjaus B4 Osien vaihto	B5 Laajamittaiset korjaukset B6 Energian käyttö B7 Veden käyttö	C1 Purkaminen C2 Kuljetukset C3 Purkujätteen käsittely C4 Purkujätteen loppusijoitus
D - LISÄTIEDOT				
Rakennuksen elinkaaren ulkopuolelle jäävät hyödyt tai haitat				

Tuotevaiheeseen (vaiheet A1-3) kuuluvat rakennuksessa käytettävien materiaalien valmistukseen liittyvät toimenpiteet, kuten raaka-aineiden hankinta, kuljetukset valmistukseen sekä rakennustuotteiden valmistaminen. Rakennusvaiheessa (vaihe A4-5) materiaalit tuodaan työmaalle ja asennetaan rakennukseen. Tässä vaiheessa suoritetaan rakennustoimet ja kuljetukset valmistajalta työmaalle. Käyttövaiheeseen (B1-7) liittyviä prosesseja ovat huolto, vaihdot ja korjaukset. Lisäksi käytön-aikaiseen liittyvät energian- ja veden kulutukseen liittyvät toimet ovat osa käyttö-vaiheen prosesseja. Purkuvaiheessa (C1-4) tutkitaan mitä rakennukselle tapahtuu, kun se puretaan. Lisäksi rakennustuotteet lajitellaan kierrätystä varten tai loppusi-joitetaan kaatopaikalle. Rakennuksen elinkaaren ulkopuolelle jääviä hyötyjä (D) voivat olla rakennusosien uudelleen käytön tai kierrätyksen kautta vältetty kasvi-huonepäästöt, joita ei syntyisi ilman niiden hyödyntämistä. /1,3./

6 RAKENNUSTEN ELINKAAREN HIILIJALANJÄLJEN LASKEMINEN

6.1 Rakennusten hiilijalanjälkilaskennassa tarvittavat tiedot

Rakennuksen elinkaariarvioinnissa otetaan huomioon *rakennuksessa käytettävät materiaalit ja niiden määrät*. Taulukossa 2 on kuvattu, mitkä materiaalit sisältyvät ja mitkä eivät rakennuksen hiilijalanjälkilaskentaan. Materiaalien kulutukseen liittyvien tietojen kerääminen on monesti elinkaariarvioinnin eniten työtä vaativa aihe. Materiaalien määrien arvioinnissa hyödynnetään tarjousasiakirjoja, rakennuksen tietomalleja, piirustuksia, työselityksiä ja käytettävien rakennustuotteiden tuotetietoja. /1,3./

Taulukko 2. Arvioitavat rakennusosat /1/.

	Sisältyy arviointiin	Ei sisälly arviointiin
Tontti	+ Maaosat + Tuennat ja vahvistukset + Päälysteet + Alueen rakenteet	- Alueen varusteet - Kasvillisuus - Kasvillisuuden, maaperän tai vesistöjen muutoksista aiheutuvat ilmastovaikutukset
Kantavat rakenteet	+ Perustukset + Alapohjat + Runko + Julkisivut, ovet ja ikkunat + Ulkotasot + Kattorakenteet	- Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumat ja muut kiinnikkeet
Täydentävät rakenteet	+ Väliseinät ja ovet + Portaat + Pintarakenteet + Tyypilliset kiintokalusteet + Hormit ja tulisijat + Tilaelementit	- Pintamateriaalit ja listat - Pintakäsittelyt ja maalaukset - Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumat ja muut kiinnikkeet
Talotekniikka	+ Lämmitysjärjestelmät + Vesi- ja viemärijärjestelmät + Ilmastointijärjestelmät + Jäähdytysjärjestelmät + Sprinklerit + Sähköjärjestelmät + Hissit	- Tietotekniset järjestelmät - Taloautomaatio - Varavirtajärjestelmät - Liukuportaat - Erilliset koneet ja laitteet
Työmaa	+ Työmaalla kulutettu energia	- Telineet, suojaukset - Väliaikaiset rakenteet, muotit ja tekniset laitteet - Työmaatilojen elinkaari - Työmaan henkilöliikenne

Rakennustuotteiden käyttöiät vaikuttavat olennaisesti rakennuksien elinkaariarviointeihin. Mitä useammin tuotteita tai osia joudutaan vaihtamaan, sitä enemmän

uutta joudutaan myös valmistamaan. Rakennusten ja rakennustuotteiden vaihtoväli arvioidaan kaavalla:

$$\text{Vaihtoväli} = \left[\left(\frac{\text{Rakennuksen tavoitekäyttöikä vuosina}}{\text{Tuotteen suunnittelukäyttöikä vuosina}} \right) - 1 \right]$$

Esimerkiksi, jos rakennuksen tavoitekäyttöikä on 80 vuotta ja rakennustuotteen suunnittelukäyttöikä on 25 vuotta. Laskennallisesti tuote vaihdettaisiin 2,2 kertaa ($80/25 - 1 = 2,2$). Hiilijalanjälkilaskennassa kyseinen tuote arvioidaan vaihdettavan kaksi kertaa, koska kolmas vaihtokerta osuisi 75 vuoden kohdalle ja tämä vaihtokerta todennäköisesti jätettäisiin tekemättä. /1./

Rakennusten ympäristövaikutukset ilmoitetaan neliometriä kohden vuodessa. Eri rakennuksien elinkaariarvioiden vertailu keskinäiseen vertailuun vaaditaan, että tulokset on laskettu samoilla yksiköillä. *Rakennuksen pinta-alaa* vertailtaessa käytetään sen lämmitettyä nettoalaa, joka on sama luku, joka löytyy energiatodistuksesta. /3./

Arvioitu rakennuksen *käyttövaiheen energiankulutus* on merkittävä tekijä rakennuksen elinkaariarvioinnin kannalta. Tätä varten on tärkeää tietää rakennuksen energiantarve neliometriä ja vuotta kohti kilowattitunteina. Lisäksi tiedossa on oltava *käytettävä energianmuoto*, koska ympäristövaikutukset vaihtelevat sen mukaan, miten sähkö ja lämpö on tuotettu. /1./

Edellä luetelluiden materiaalien ja prosessien määrät kerrotaan niiden *ympäristövaikutusten kertoimilla* /1/. Ympäristövaikutusten kertoimet löytyvät Rakennustietosäätiön (RTS) Ympäristöselosteista (Environmental Product Declaration, EPD) /16/. Rakennusten elinkaaren hiilijalanjälkilaskentaan tarvitaan laskentaa varten suunniteltu *laskentatyökalu* /1/. Tässä opinnäytetyössä hyödynnetään Ympäristöministeriön arviointityökalua, koska se on ilmaiseksi saatavilla Ympäristöministeriön internet-sivuilla työkalun pilotoinnin ajan /18/.

6.2 Tuote- ja rakennusvaiheen hiilijalanjälki (vaihe A)

Rakennuksen materiaalit syötetään laskentatyökalun materiaaliluetteloon. Materiaaliluetteloon on valmiiksi syötetty alas veto valikkoihin materiaalityypit ja niiden alle materiaalit, jolloin työkalu antaa suoraan yksiköt, joissa kyseinen materiaali tulee materiaalitaulukossa ilmoittaa. Kun laskentatyökalun lähtötietoihin on syötetty rakennuksen käyttöikä, materiaaliluetteloon tulee automaattisesti tuotteen vaihtoväli vuosina ja kokonaiskappalemäärä, joka tarvitaan koko rakennuksen elinkaaren aikana. Taulukossa 3 on kuvakaappaus materiaaliluettelosta, jonka harmaiisiin laatikoihin materiaaleja syötetään yksi kerrallaan. /1,18./

Taulukko 3. Materiaaliluettelo /18/.

Materiaali	Määrä	yks	kgCO ₂ e	kgCO ₂ e	a	kpl	kgCO ₂ e
			Hiilijalanjälki	Hiilikädenjälki	Vaihtoväli	Vaihdot	Hiilijalanjälki

Materiaalien luetteloinnin jälkeen niiden ympäristövaikutukset lasketaan. Yleisimmin laskenta tapahtuu kertomalla materiaalin paino sen materiaalikohtaisella ympäristövaikutuskertoimella. Ympäristövaikutuskertoimet on sisällytetty laskentatyökaluun, jolloin jokaiselle tuoteriville laskentatyökalu ilmoittaa tuotteen hiilijalanjäljen ja mahdollisen hiilikädenjäljen (kgCO₂e). Ympäristövaikutuskertoimet on tässä laskentatyökalussa koottu päästötaulukoksi. Päästötaulukko perustuu VTT:n eri lähteistä kokoamiin ja arvioimiin tuloksiin. Taulukossa 4 on esimerkki materiaalien päästötaulukosta materiaaliluokasta ”Maalit ja tasoitteet”. /1./

Taulukko 4. Esimerkki materiaalien päästötaulukosta /18/.

Materiaalit	Hiilijalanjälki	Hiilikädenjälki	Yksikkö	Vaihtoväli (a)
MAALIT JA TASOITTEET				
Maali, sisä, akrylaatti	2,126		kgCO ₂ e/kg	20
Maali, sisä, alkydi	1,864		kgCO ₂ e/kg	20
Maali, punamulta	0,445		kgCO ₂ e/kg	20
Maali, pellavaöljy	1,538		kgCO ₂ e/kg	20
Maali, ulko, vesiohenteinen	1,840		kgCO ₂ e/kg	20
Maali, sisä, vesiohenteinen	1,640		kgCO ₂ e/kg	20
Tasoite, sementtipohj.	0,185		kgCO ₂ e/kg	30
Tasoite, polymeeripohj.	0,361		kgCO ₂ e/kg	30

Taulukossa 5 on yhteenvedonäkymä rakennuksen valmistus-, kuljetus- ja työmaavaiheiden päästöjen arvioinnista. Tässä laskentatyökalussa ei lasketa hankekohtaisia päästöjä vaiheeseen A4 Kuljetus työmaalle eikä vaiheeseen A5 Työmaatoimintoihin. Näissä käytetään laskentatyökalun taulukkoarvoja. Taulukkoarvot on esitetty Liitteessä 1. /1,18./

Taulukko 5. Valmistus-, kuljetus- ja työmaavaiheen päästöjen arviointi (A) /18/.

	Hiilijalanjälki	Hiilikädenjälki
	kg CO ₂ e/m ² _{netto} /a	kg CO ₂ e/m ² _{netto} /a
Ennen käyttöä syntyvät päästöt yhteensä	0,55	
Valmistus ja kuljetusvaihe (A1-4)		
Tontti	-	-
Kantavat rakenteet	-	-
Vaippa	-	-
Kevyet rakenteet	-	-
Talotekniikka	-	-
Valmistusvaiheen päästöjen tulokset muodostuvat automaattisesti välilehdellä 'Materiaaliluettelo' annettujen arvojen perusteella.		
Työmaatoiminnot (A5)	0,55	

Työmaatoimintojen aikana hiilijalanjälki koostuu rakentamisen aikana käytetystä energiasta, vedestä ja syntyvästä rakennusjätteestä. Asumisen rahoitus- ja kehittämisskeskuksen tekemän tutkimuksen mukaan rakennusvaiheen sähkönkulutukseen vaikuttaa sen ajankohta ja työmaalla vallitsevat sääolosuhteet. /19./

Rakennusjätteiden aiheuttamiin kasvihuonekaasupäästöihin työmaalla on mahdollisuus vaikuttaa merkittävästi lajittelun avulla. Eniten jätteen määrään vaikuttaa kuitenkin se miten paljon jätettä työmaalla syntyy ja se, kuinka suuri osuus energia- ja sekajätteellä on kokonaisjätteen määrästä. Energia- ja sekajätteen päästökertoimet kiloa kohden ovat merkittävästi suuremmat kuin muilla jätteillä. /19./

Rakennusvaiheen kuljetuksien aiheuttamaan hiilijalanjälkeen kuuluvat kaikkien rakennustuotteiden, materiaalien ja maamassojen kuljetukset rakennustyömaalle. Tähän luetaan myös mahdolliset välivarastointi- tai esivalmistuspaikat. Kuljetuksiin sisältyy myös rakentamisesta syntyvän jätteen kuljetukset jätteenkäsittelyyn tai vä-

livarastoihin. Rakennuskoneiden kuljetusta sekä työntekijöiden suorittamia matkoja työmaalle ei oteta huomioon kuljetuksista syntyvää hiilijalanjälkeä laskettaessa. /1,18./

NCC-konserniin kuuluvan suunnittelutoimisto Optilan tekemän tutkimuksen mukaan rakennuksen materiaalivalinnoilla, rakennusmateriaalien määrällä ja laadulla voidaan vaikuttaa 30 prosenttia rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen. Pitkäikäisten materiaalien suosiminen vähentää rakennuksen elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia. /19./

6.3 Käyttövaiheen hiilijalanjälki (vaihe B)

Rakennuksien elinkaaren hiilijalanjäljestä 85 prosenttia syntyy rakennuksen käytön aikaisista toimista. Tämä osuus liittyy vahvasti rakennuksen energian kulutukseen, kuten lämmitykseen ja sähkönkulutukseen. Suuren osuuden johdosta on syytä painottaa erityisesti rakennuksen käytön aikaiseen energian kulutukseen, kuten käytetyn energian tuotantotapoihin ja rakennuksen energiatehokkuuteen. /20./

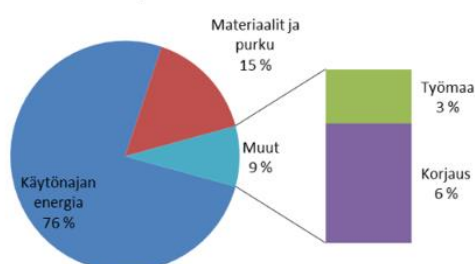
Aholan & Liljeströmin tekemän tutkimuksen mukaan rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä 65 prosenttia riippuu rakennuksen energian kulutuksesta. Energiaratkaisujen kehittäminen on suuressa roolissa, kun rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeä halutaan saada pienemmäksi. Rakennuksen energiatehokkuutta parantavia keinoja ovat esimerkiksi hajautettu huoneistokohtainen ilmanvaihto sekä maalämmön käyttäminen lämmityksessä. /19./

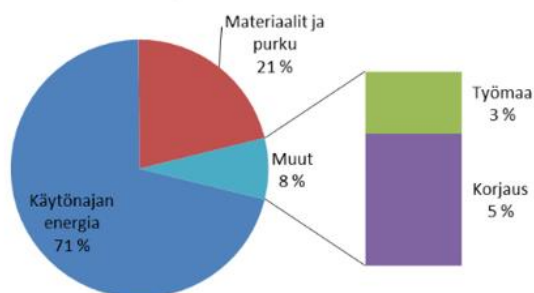
Rakennusten elinkaaren käyttövaiheen (vaihe B) hiilijalanjälkilaskennassa syötetään taulukon 6 mukaisesti energiankulutus ja mahdollinen verkkoon syötetty ylijäämäenergia. Käyttövaiheen osien vaihtojen päästövaikutukset muodostuvat automaattisesti Materiaaliluetteloon syötettyjen tietojen perusteella. Vaiheen B3-4 Korjausten energiankulutusta tässä laskentatyökalussa ei lasketa hankekohtaisia lukuja vaan käytetään liitteessä 1 olevaa päästöjen taulukkoarvoa. /1,18./

Taulukko 6. Rakennuksen käyttövaiheen päästöjen arviointi (B) /18/.

		Hiilijalanjälki	Hiilikädenjälki
		kg CO ₂ e/m ² _{netto} /a	kg CO ₂ e/m ² _{netto} /a
Käytön aikana syntyvät päästöt yhteensä		0,04	
Energiankäyttö (B6)	Energiankulutus (kWh/m ² _{netto} /a)		
Sähkö			-
Kaukolämpö			-
Fossiiliset polttoaineet			-
Uusiutuvat polttoaineet			
Ylijäämäenergia	Energian tuotanto (kWh/m ² _{netto} /a)		
Sähkö		Verkkoon syötetty uusiutuvilla polttoaineilla tuotettu sähkö	
Lämpö		Verkkoon syötetty uusiutuvilla polttoaineilla tuotettu lämpö	
Syötä yllä olevaan listaan rakennuksen laskennallinen vuotuinen ostoenergian kulutus energiaselvityksen tai vastaavan laskelman pohjalta. Energiankäytön päästöt muodostuvat automaattisesti eri energiamuotojen päästötietojen perusteella, kun kulutus on syötetty. Energiamuotojen päästökertoimia ei voi muuttaa.			
Verkkoon syötetty, tontilla tuotettu, uusiutuva energia huomioidaan kiinteistön hiilikädenjäljessä. Syötä vuotuinen ylijäämäenergia erikseen yllä oleviin kenttiin.			
Korjaukset ja osien vaihdot (B3-4)		0,04	-
Osien vaihdot		-	-
Korjausten energiankulutus		0,04	-
Osien vaihtojen päästövaikutukset muodostuvat automaattisesti välilehdellä 'Materiaaliluettelo' annettujen arvojen perusteella.			

Yhteiskunnallisten tavoitteiden vuoksi energiateollisuudessa panostetaan vähäpäästöisiin energiantuotantomuotoihin. Tämän vuoksi sähkön ja lämmön keskimääräiset päästöt alenevat ajan kuluessa. Näiden merkitys kasvaa sen mukaan mitä pidemmäksi rakennuksen elinkaari odotetaan. Puutalojen energiankulutuksen päästöjen suhteellinen osuus on betonitalojen energiankulutuksen suhteellisia päästöjä suurempi ja vastaavasti materiaalien ja purkujen osuus pienempi 100 vuoden aikajanalla. Puutalojen päästöjen suhteellinen jakauma on esitetty kuvassa 4 ja betonitalojen kuvassa 5. /21./

Puutalon päästöt 100 vuodessa**Kuva 4.** Puutalon päästöjen suhteellinen jakauma (9,4 kg CO₂e/ m²/v) 21/.

Betonitalon päästöt 100 vuodessa**Kuva 5.** Betonitalon päästöjen suhteellinen jakauma (10 kg CO₂ e/m²/v) /21/.

6.4 Purkuvaiheen hiilijalanjälki (vaihe C)

Purkuvaiheen hiilijalanjälkilaskennassa arvioidaan rakennuksen purkuvaiheessa syntyvän jättemateriaalin määrä. Elinkaaren lopun kuljetuksiin lasketaan kaikki kuljetukset purkupaikalta uudelleenkäyttöön, kierrätykseen ja jätteiden käsittelyyn. Hiilijalanjälki lasketaan erikseen jokaiselle kuljetusmuodolle käyttäen kuljetusmuodoille ja polttoaineille omia päästökertoimia. Kuljetusetäisyydet lasketaan purkuhetkellä olemassa olevien jätteenkäsittely, kierrätys tai uudelleenkäsittelylaitosten sijainnin mukaan. Kuljetusetäisyydet lasketaan molempiin suuntiin siten, että noutomatkalla kuljetuksen täyttöaste on 0 % ja paluumatkalla 80 %. /1,3,18./

Tässä laskentatyökalussa purkuvaiheen hiilijalanjälki (vaihe C) kokonaisuudessaan perustuu päästöjen taulukkoarvoihin. Päästötaulukon purkutyömaan hiilijalanjälki (C1) on arvioitu purkutyömaalla käytetyn ostoenergian ja polttoaineiden päästöjen mukaan käyttäen niiden päästökertoimia. Kuljetukset jatkokäsittelyyn (C2) taulukkoarvo on rakennusten keskimääräinen etäisyys jatkokäsittelyyn Suomessa. Elinkaaren lopun päästötiedot hiilijalanjälkilaskennassa on esitetty taulukossa 7. /1./

Taulukko 7. Elinkaaren lopun päästöjen arviointi (C) /18/.

Purkaminen (C1)	0,16
Päästötiedot pohjautuvat taulukkoarvoihin.	
Kuljetukset (C2)	0,20
Päästötiedot pohjautuvat taulukkoarvoihin.	
Purkujätteen loppukäsittely ja sijoitus (C3-4)	0,31
Päästötiedot pohjautuvat taulukkoarvoihin.	

Elinkaaren ulkopuolelle syntyvät hyödyt ja haitat hiilijalanjälkilaskennassa kirjataan lisätiedoksi kohtaan D. Elinkaaren ulkopuolella syntyviä hyötyjä voivat olla rakennusosien uudelleenkäyttö, materiaalien kierrätys tai purkumateriaalin hyödyntäminen energiantuotossa. Kierrätyksen kautta vältetyt kasvihuonepäästöt ilmoitetaan hiilikädenjälkenä. /1,18./

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Hiilineutraalien ilmastotavoitteiden vuoksi myös rakentamisessa on entistä tärkeämpää ottaa huomioon siitä aiheutuvat ympäristövaikutukset. Suomessa kasvihuonekaasuista yli kolmannes syntyy rakennuksista ja rakentamisesta. Tämän vuoksi rakentamisen aiheuttamien päästöjen vähentämisellä on suuri merkitys ilmastomuutoksen torjunnassa. Tähän asti rakennuksien päästöjen vähentämisessä on keskitytty enimmäkseen käytön aikana syntyviin päästöihin. Tavoitteisiin pääseminen edellyttää päästöjen vähennystä myös muissa rakennuksen elinkaaren vaiheissa. /1./

Rakennuksille tehtävä hiilijalanjälkilaskenta on vielä melko uutta, mutta on silti jo nyt merkittävä osa tavoiteltaessa vähähiilistä rakentamista. Vaikka käytössä on jo nyt hyviä laskentamenetelmiä, tulee hiilijalanjälkilaskenta kehittymään ja yleistymään entistä enemmän tulevaisuudessa. Tähän vaikuttaa muun muassa EU:n asettamat tavoitteet kasvihuonekaasujen vähentämiseksi. Hiilijalanjälkilaskenta on tärkeä osa vähennettäessä kasvihuonekaasupäästöjä rakennuksen koko elinkaaren ajalta. /7./

Rakennuksen aiheuttamiin päästöihin voidaan vaikuttaa merkittävästi jo sen suunnitteluvaiheessa. Rakennusta varten tehtävien elinkaariarvioinnin tulosten perusteella voidaan nähdä missä vaiheessa rakennuksen elinkaarta päästöjä syntyy. Tämän pohjalta voidaan tehdä valintoja liittyen esimerkiksi rakennuksen materiaaleihin ja siinä käytettävään lämmitysmuotoon. Hiilijalanjälkilaskenta rakennusten suunnittelu- ja hankevaiheessa kannattaa. Huolellinen suunnittelu ja materiaalien kestävä hyödyntäminen rakentamisessa pidentää myös rakennuksen käyttöikää, joten tästä on taloudellisia etuja hiilijalanjäljen pienentämisen lisäksi. /1./

Tutkimuseettinen neuvottelukunta ohjaa Suomessa tehtävää tutkimusta. Ohjeissa otetaan kantaa tutkimuksen eettisiin periaatteisiin. Ohjeet koskevat myös ammattikorkeakouluissa tehtäviä opinnäytetöitä. Tutkimukset on tehtävä noudattamalla hyvää tieteellistä käytäntöä. Tutkimusta tehtäessä on noudatettava rehellisyyttä, tarkkuutta, avoimuutta ja huolellisuutta sekä kunnioitettava muiden tutkijoiden työtä ja saavutuksia. /22./ Tutkimuksessa on pyrittävä mahdollisimman luotettavaan tietoon. Työn luotettavuutta lisää tarkka selostus tutkimuksen toteuttamisesta, jotta

lukijalle selviää mahdollisimman tarkasti työn eteneminen ja tehtyjen ratkaisujen perustelut. Tarkkuus koskee työn kaikkia vaiheita. /23./

Tässä opinnäytetyössä on pyritty kuvaamaan tarkasti, rehellisesti ja huolellisesti opinnäytetyön eri vaiheet ja niiden eteneminen. Muiden tekemää työtä on kunnioitettu tekemällä huolellisesti tekstinsisäiset lähdeviitteet ja lähdeluettelo. Työ tarkistettiin plagioinnin tunnistamisohjelman Urgundin avulla. Lähdeviittauksissa pyrittiin noudattamaan Vaasan ammattikorkeakoulun antamia ohjeita mahdollisimman tarkasti. Aiheen ajankohtaisuuden vuoksi lähdemateriaalia löytyi hyvin. Työssä on käytetty tuoreita lähteitä. Vanhin käytetty lähde on tutkimus vuodelta 2011, joka aiheeltaan sopi työhön hyvin. Työssä käytetyt lähteet yhtä lähdettä lukuun ottamatta olivat sähköisessä muodossa saatavilla. Työn raportin kirjottamisen ollessa ajankohtaisimmillaan, koronaepidemian vuoksi kirjastot olivat suljettu, joten kirjallisten hyödyntäminen jäi vähäisemmälle. Työn uskottavuutta olisi parantanut se, että työssä olisi ollut työelämäkumppani. Työelämäkumppania etsittiin, mutta ei opinnäytetyön aikataulussa löytynyt. Työstä olisi tullut konkreettisempi, jos olisi voitu laskea jonkin rakennuskohteen hiilijalanjälki. Työssä oli kolme tutkimuskysymystä, joihin työssä vastattiin.

Hiilijalanjälkilaskenta tulee lähivuosina lisääntymään, joten jatkotutkimusaiheena voisi olla:

- hiilijalanjälkilaskennan vaikuttavuuden arviointi: miten hiilijalanjälkilaskenta on vaikuttanut tehtyihin rakennusratkaisuihin?
- milloin rakennukset Suomessa ovat hiilineutraaleita?
- miten rakennusten hiilikädenjälkeä voitaisiin kasvattaa?

LÄHTEET

- /1/ Ympäristöministeriö. 2019. Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:22. Viitattu 2.3.2020. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vaha-hiilisyyden_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- /2/ Valtioneuvosto. 2019. Hallitusohjelma. Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi. Viitattu 13.4.2020. <https://valtioneuvosto.fi/marinin-hallitus/hallitusohjelma/hiilineutraali-ja-luonnon-monimuotoisuuden-turvaava-suomi>
- /3/ Ympäristöministeriö. 2019. Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin. Ympäristöministeriön opas. Viitattu 4.3.2020. https://elinkaarilaskenta.fi/wp-content/uploads/sites/6/2019/08/johdatus_rakennusten_elinkaariarviointiin.pdf
- /4/ Euroopan parlamentti. 2018. Kasvihuonepäästöjen vähentäminen: kansalliset tavoitteet vuodelle 2030. Viitattu 14.3.2020. <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20180208STO97442/kasvihuonekaasupaastojen-vahentaminen>
- /5/ Euroopan parlamentti. 2018. Kehitys kohti ilmastotavoitteita. Viitattu 14.3.2020. <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20180706STO07407/kehitys-kohti-eu-n-ilmastotavoitteita-infografiikka>
- /6/ Ympäristöministeriö. 2020. Hallituksen ilmastopolitiikka: kohti hiilineutraalia Suomea 2035. Viitattu 2.4.2020. https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Hiilineutraali_Suomi_2035
- /7/ Ympäristöministeriö. 2017. Vähähiilisen rakentamisen tiekartta. Viitattu 2.4.2020. https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Vahahiilinen_rakentaminen/Vahahiilisen_rakentamisen_tiekartta
- /8/ Bionova Oy. 2017. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimisessa rakentamisen ohjauksessa. <https://www.ym.fi/download/no-name/%7B4B3172BC-4F20-43AB-AA62-A09DA890AE6D%7D/129197>
- /9/ Meggers, F., Leibundgut, H., Kennedy, S., Qin, M., Schlah, M., Sobek, W. & Shukuya, M. 2012. Reduce CO2 from building with technology to zero emissions. *Sustainable Cities and Society* 2, 2012, 29-36.
- /10/ Euroopan unioni. 2018. Kasvihuonepäästöt EU:ssa ja maailmalla. Viitattu 17.4.2020. <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20180301STO98928/kasvihuonekaasupaastot-eu-ssa-ja-maailmalla-infografiikka>
- /11/ VTT. 2018. Hiilikädenjälki: uusi ympäristömittari tuotteiden positiivisten ilmastovaikutusten arviointiin. Viitattu 20.2.2020. <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/hiilikadenjalki-uusi-ymparistomittari-tuotteiden-positiivisten>

- /12/ EPA. 2018. Overview of Greenhouse Gases. Viitattu 13.4.2020. <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>
- /13/ Ympäristö.fi. 2016. Tiekartta rakennusmateriaalien hiilijalanjäljen vähentämiseksi valmisteilla. Viitattu 17.4.2020. [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kultus_ja_tuotanto/Tiekartta_rakennusmateriaalien_hiilijala\(40813\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kultus_ja_tuotanto/Tiekartta_rakennusmateriaalien_hiilijala(40813))
- /14/ EN 15978. Sustainability of construction works. Assessment of the environmental performance of buildings. Calculation method. Dublin: NSAI. 2011. 60 s.
- /15/ EN 15804. Sustainability for construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products. BSI. 2012. 76 s.
- /16/ Rakennustietosäätiö. 2020. RTS EPD –ympäristöseloste. Viitattu 26.4.2020. <https://cer.rts.fi/epd-ymparistoseloste/>
- /17/ Suomen ympäristökeskus. 2020. Laskureita hiilijalanjäljen arviointiin ja seurantaan. Viitattu 9.4.2020. <https://www.syke.fi/co2laskurit>
- /18/ Green Building Council Finland. 2019. Rakennusten elinkaarimittarit. Rakennusten hiilijalanjälki. Viitattu 21.4.2020. <https://figbc.fi/elinkaarimittarit/>
- /19/ Ahola, R. & Liljeström, K. 2018. Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pienentäminen kustannustehokkaasti vuokratalokohteessa. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskuksen (ARA) raportti 8:2018.
- /20/ Kaskiaro, T. 2020. Rakennetun ympäristön päästöt painottuvat käyttövaiheen energiankulutukseen. Kivifaktaa. Viitattu 28.4.2020. <https://kivifaktaa.fi/rakennetun-ympariston-paastot-painottuvat-kayttovaiheen-energiakulutukseen/>
- /21/ Pasanen, P., Korteniemi, J. & Sipari, A. 2011. Passiivitasen asuinkerrostalon elinkaaren hiilijalanjälki – Tapaustutkimus kerrostalon ilmastovaikutuksista. Sitran selvityksiä 63. Helsinki. Viitattu 3.5.2020. <https://media.sitra.fi/2011/12/19145441/Selvityksia63.pdf>
- /22/ Tutkimuseettinen neuvottelukunta. 2012. Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitteleminen Suomessa. Tutkimuseettisen neuvottelukunnan ohje 2012. Viitattu 3.5.2020. https://www.tenk.fi/sites/tenk.fi/files/HTK_ohje_2012.pdf
- /23/ Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2014. Tutki ja kirjoita. Helsinki. Tammi.

LIITE 1.

Elinkaaren eri vaiheiden päästöjen taulukkoarvot

Hiilijalanjälki ilmoitetaan yksikkönä kgCO₂e/m² (lämmitetty rakennuksen netto-ala). Taulukkoarvot on koottu aikaisemmista Suomessa tehdyistä rakennusten elinkaaren kasvihuonepäästöjen selvityksistä. Päästöarvot ovat siis arvioita ja näihin lukuihin on lisätty 20 % epävarmuuskerroin. Tulokset on jyvitetty rakennuksen käyttöiälle (kgCO₂e/m²/a). /1./

Tyypilliset päästöt (kgCO ₂ e/m ²)		
A1–3 Valmistus		<i>(lasketaan aina hankekohtaisin tiedoin)</i>
A4 Kuljetus työmaalle	10,20	Keskimääräinen kuljetusetäisyys Suomessa
A5 Uudisrakennustyömaan toiminnot	27,30	Työmaan energian ja polttonesteiden kulutus
B3–4 Korjausten energiankulutus ¹²	2,16	Materiaalien valmistus arvioitava erikseen
B6 Energian käyttö		<i>(lasketaan aina hankekohtaisin tiedoin)</i>
C1 Purkutyömaan toiminnot	7,80	Työmaan energian ja polttonesteiden kulutus
C2 Kuljetus jatkokäsittelyyn	10,20	Keskimääräinen kuljetusetäisyys Suomessa
C3–4 Jätteenkäsittely ja loppusijoitus	15,60	
Yhteensä	73,26	kgCO₂e/m²